

Рис. 2. Спектральная плотность мощности фазового шума входного (черный) и выходного (белый) сигналов усилителя (анализатор – Symmetricom 5125A)

Результаты работы показывают принципиальную возможность построения усилителей для таких сигналов на основе типовых схем включения биполярных транзисторов при указанных коэффициенте передачи и выходной мощности усилителя.

### **ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩАЯ СИСТЕМА НАВИГАЦИОННОГО РАДИОЗОНДА МРЗ-Н1**

*О.В.Плохих, И.В.Букрин, В.Э.Иванов*

(Екатеринбург, УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина)

### **TRANSMITTER-RECEIVER SYSTEM OF MRZ-N1 NAVIGATIONAL RADIOSONDE**

*O. V. Plokhikh, V. E. Ivanov*

В УрФУ и ОАО "Радий" при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. №218 ведутся работы по созданию мобильной навигационной системы радиозондирования (СР) атмосферы "Полюс", в которой координаты аэрологического радиозонда (АРЗ) измеряются по сигналам спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС/GPS [1].

К аппаратуре АРЗ предъявляются особые требования, связанные с условиями его эксплуатации. АРЗ используется в качестве телеметрического средства измерений параметров атмосферы, функционирующего в сложных климатических условиях, изменяющихся в широких пределах: температура окружающей среды от  $-90$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ; относительная влажность воздуха от 5 до 98 %, атмосферное давление от 0.2 до 110 кПа [2].

АРЗ МРЗ-Н1 разрабатывается в составе СР "Полус". Структурная схема АРЗ МРЗ-Н1 представлена на рис.1. Он состоит из базового модуля, навигационного модуля ГЛОНАСС/GPS, модуля передатчика, модуля питания и узла датчиков [3].

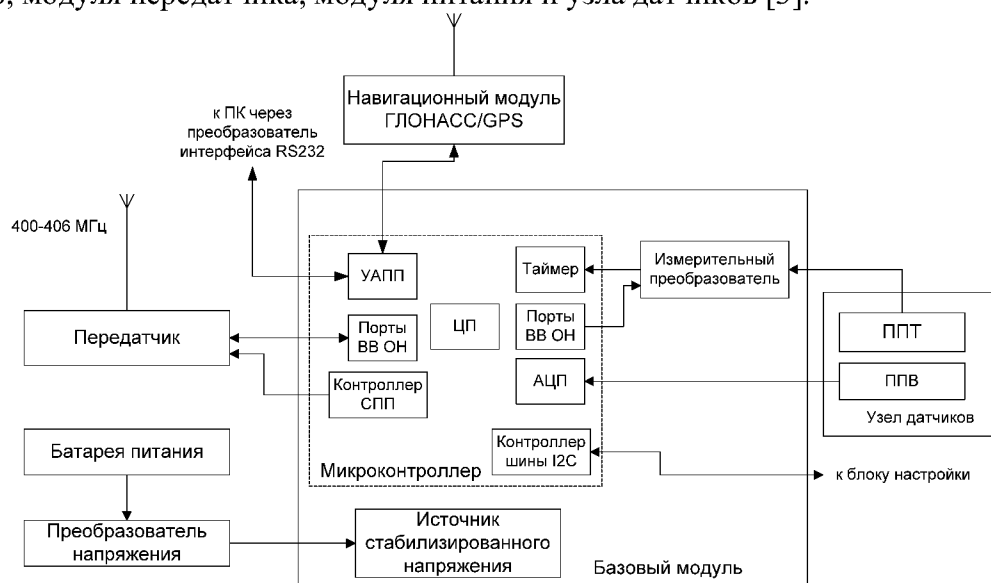


Рис. 1

Базовый модуль включает в себя микроконтроллер с 32-разрядным цифровым процессором (ЦП), измерительный преобразователь (ИП), стабилизатор напряжения и разъемы для подключения остальных модулей. Базовый модуль измеряет выходное напряжение первичного преобразователя влажности (ППВ) и период выходного сигнала измерительного преобразователя, определяемый сопротивлением первичного преобразователя температуры (ППТ) и опорным сопротивлением, принимает данные от навигационного модуля ГЛОНАСС/GPS, подключенному к универсальному асинхронному приемопередатчику (УАПП), формирует цифровой пакет для передачи на БС и управляет работой модуля передатчика. Модуль передатчика передает по радиоканалу битовый поток, формируемый базовым модулем.

Компоновка макета АРЗ МРЗ-Н1 показана на рис. 2. В нижней части корпуса в алюминиевом стакане 1 размещен модуль передатчика со штыревой антенной 2. Над модулем передатчика расположен базовый модуль 3. Внутри крышки, наращенной по высоте кольцом 4, размещены две вставки из пенопласта 5. В верхней прокладке закреплен приемный навигационный модуль ГЛОНАСС/GPS 6, в нижней – модуль питания.

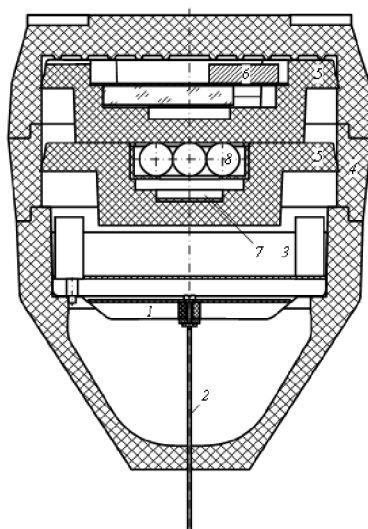


Рис. 2

Плата преобразователя питания 7 размещена под отсеком с элементами питания 8. Таким образом, выполняется частичная экранировка навигационного модуля ГЛОНАСС/GPS от электромагнитных помех, создаваемых преобразователем напряжения.

Узел датчиков используется от серийного АРЗ с терморезистором ММТ-1 и датчиком влажности НН-5030. У датчика ММТ-1 постоянная времени в неподвижном воздухе равна 85 с и сравнительно большие размеры, вследствие чего он весьма подвержен воздействию радиации. Поэтому параллельно прорабатывалась конструкция с датчиками других типов, монтируемых на плату-держатель. На плату датчиков, защитный колпачок и ППТ наносится светоотражающее покрытие. Плата датчиков крепится к консольной части держателя.

колпачок и ППТ наносится светоотражающее покрытие. Плата датчиков крепится к консольной части держателя.

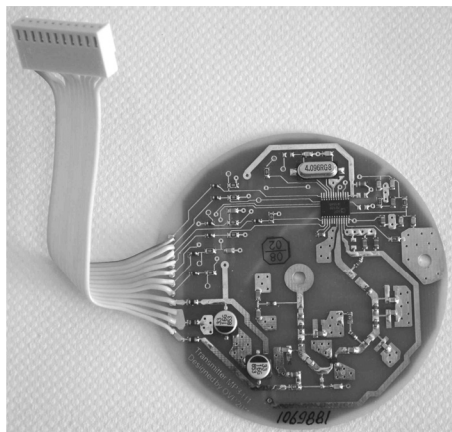


Рис. 4

В ходе выполнения работ разработано и протестировано несколько вариантов приемных модулей, использующих навигационные микромодули разных производителей. По результатам испытаний отобрано два типа СРНС-приемника [3]. В качестве навигационного приемника ГЛОНАСС/GPS был выбран приемный модуль GeoC-1M. Конструктивно приемник выполнен в виде платы с односторонним монтажом элементов, закрытой экраном. Габаритные размеры 35.5×33.2×3.8 мм. Ток потребления GeoC-1M в 1.5...2 раза ниже, чем у аналогичных приемников других отечественных производителей, что очень важно для такого устройства как АРЗ. Вторым вариантом – GPS приемник NEO-6 швейцарской фирмы u-Blox (12.2×16×2.4 мм). Были изготовлены и испытаны 40 навигационных модулей с приемником NEO-6 (рис. 3). Испы-

тания показали, что в статическом режиме измерений в 95 % случаев отклонение измерений координат от среднего значения в плане не превышает 1.2 м по долготе и 1.8 м по широте, а по высоте – 5 м.

Дополнительно были изготовлены и исследованы характеристики приемных модулей на базе навигационных приемников NV08C-CSM (ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/COMPASS, ЗАО «КБ НАВИС») и ML8088s (ГЛОНАСС/GPS/GALILEO, «Навиа»).

Передатчик АРЗ формирует, усиливает и передает на базовую станцию телеметрический сигнал на несущей частоте 400...406 МГц. Модуляция частотно-импульсная с девиацией  $\pm 2$  кГц. Скорость передачи данных в канале 2400 бит/с. Несущая частота перестраивается в диапазоне от 400 до 406 МГц с шагом 100 кГц. Относительная стабильность несущей частоты передатчика определяется стабильностью кварцевого резонатора и качеством работы схемы ФАПЧ и имеет порядок  $10^{-5}$ . Мощность излучения передатчика программируется в пределах от 10 мВт до 200 мВт. Внешний вид платы передатчика показан на рис. 4.

Передатчик может работать в режиме частотно-импульсной модуляции (ЧИМ), а также гауссовской ЧИМ (ГЧИМ), уменьшающей уровень боковых спектральных составляющих. Экспериментальная проверка эффективности ГЧИМ в разработанном передатчике АРЗ выполнена для симметричного сигнала (модуляция меандром с частотой 1.2 кГц). В таком сигнале ГЧИМ позволяет снизить уровень третьей и четвертой спектральных составляющих примерно на 10 дБ по сравнению с ЧИМ. Выходной сигнал передатчика фильтруется ФНЧ с верхней граничной частотой 406 МГц и полосно-запирающим фильтром с полосой 1575...1610 МГц. Моделирование фильтра проводилось в пакете Microwave Office фирмы AWR. Ослабление сигнала передатчика на частоте приема ГЛОНАСС/GPS составляет не менее минус – 115 дБ.

При испытаниях АРЗ на полигоне была достигнута дальность 170 км и высота 31,3 км. Средний уровень сигнала на входе приемного устройства на расстоянии 170 км был равен минус 120 дБ. Из этого можно сделать вывод, что аппаратура СР «Полос» с хорошим запасом обеспечивает дальность зондирования не менее 250 км. Другие выпуски происходили при практически вертикальном подъеме радиозондов до высоты 5-10 км и дальнейшем удалении на расстоянии более 100 км. Навигационные GPS приемники радиозондов МРЗ-Н1 обеспечивали устойчивый прием сигналов 7-11 спутников, что контролировалось программным обеспечением БС СР «Полос». Сигналы передатчиков радиозондов МРЗ-Н1 на частотах 400-406 МГц надежно принимались и расшифровывались во всем диапазоне достигнутых дальностей и высот при выпусках радиозондов.

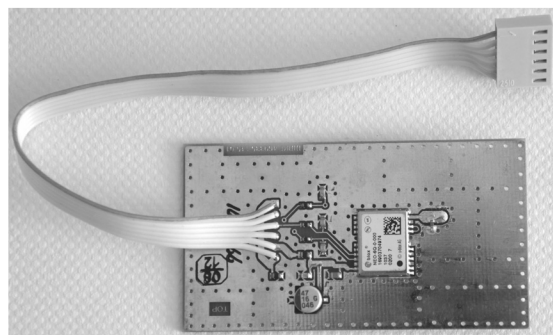


Рис. 3

В отличие от серийных АРЗ, аппаратура МРЗ-Н1 низковольтная и обладает большим потреблением по току из-за навигационного приемника. Климатические испытания показали, что разработанный модуль питания с тремя сухими батарейками типа АА, обеспечивает стабилизированное питание мощностью не менее 1.4 Вт в течение 5.5 ч при температуре окружающей среды АРЗ – 70 °С.

В результате выполненных работ впервые в Российской Федерации создан навигационный АРЗ с современным цифровым радиоканалом и с техническими характеристиками, превосходящими отечественные АРЗ радиолокационных СР.

### **Литература**

1. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС / Под. ред. В.Н. Харисова, А.И. Петрова, В.А. Болдина. – 2-е изд. исправ. – М.: ИПРЖР, 1999.
2. Иванов В.Э. Радиозондирование атмосферы. Технические и метрологические аспекты разработки и применения радиозондовых измерительных средств / В.Э. Иванов, М.Б. Фридзон, С.П. Ессяк; под ред. В.Э. Иванова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 596 с. – ISBN 5-7691-1513-0.
3. Иванов В.Э., Плохих О.В. Некоторые результаты разработки системы радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных платформ GPS-ГЛОНАСС. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. Санкт-Петербург: 2009, вып. 6 (тематический выпуск «Широкополосные сигналы и системы»), с. 66-74. ISSN 1993-8985.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО РАДИОЗОНДА МРЗ-Н1**

*О.В. Плохих, В.Э. Иванов*

(Екатеринбург, УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина)

### **RESEARCH OF MRZ-N1 NAVIGATIONAL RADIOSONDE MEASURING SYSTEM**

*O. V. Plokhikh, V. E. Ivanov*

К аппаратуре аэрологического радиозонда (АРЗ) предъявляются особые требования, связанные с условиями его эксплуатации. АРЗ используется в качестве телеметрического средства измерений параметров атмосферы, функционирующего в сложных климатических условиях, изменяющихся в широких пределах: температура окружающей среды от – 90 до + 60°С; относительная влажность воздуха от 5 до 98 %; атмосферное давление от 0.2 до 110 кПа [1]. Далее рассмотрены ключевые вопросы моделирования и экспериментальных исследований, выполненных в ходе разработки МРЗ-Н1.

Структурная схема АРЗ МРЗ-Н1 состоит из базового модуля, навигационного модуля приема сигналов СРНС ГЛОНАСС/GPS, модуля передатчика, модуля питания и узла датчиков. Можно выделить наиболее ответственные элементы измерительной системы АРЗ: узел датчиков (конструкция, типы датчиков, метрология и калибровка); измерительная схема, включающая ИП и схему аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (схема, конструкция, линейность преобразования и методика калибровки); цифровой вычислитель–контроллер (производительность и быстродействие, необходимая периферия, низкое энергопотребление, достаточный объем памяти, низкая стоимость); корпус и компоновка конструкции.

Узел датчиков использован от серийного АРЗ типа МРЗ-3 с терморезистором ММТ-1 и датчиком влажности НН-5030. Параллельно прорабатывалась конструкция АРЗ с датчиками других типов, монтируемых на плату–держатель (рис. 1).